

Drones: een nieuwe kijk op archeologische luchtfotografie



1

Luchtfotografische archeologische prospectie is reeds een eeuw oud, maar de basisprincipes bleven al die tijd onveranderd. Het laatste decennium bracht echter grote technologische veranderingen met zich mee: computers werden sneller, software geavanceerder en digitale camera's beter. Een van de ontwikkelingen met een steeds groeiende impact is de introductie van drones. Vertrekkend van de geschiedenis en de basisprincipes van luchtfotografie, tracht dit artikel de huidige mogelijkheden en het belang van deze telegeleide of autonoom opererende vliegtuigen uit de doeken te doen.

Archeologische teledetectie

Archeologische teledetectie (*remote sensing*) omvat het gehele proces van de (actieve of passieve) datavergaring, de inventarisering van deze data tot en met de digitale kartering en interpretatie van de verzamelde gegevens. Deze laatste kunnen heel divers zijn, maar alle hebben ze één ding gemeen: ze werden gegenereerd vanaf een zekere hoogte boven het aardoppervlak ('tele') om specifieke eigenschappen van datzelfde aardoppervlak te

onderzoeken ('detectie'). Enkele voorbeelden van teledetectiegegevens die in de archeologie worden gebruikt zijn foto's genomen vanuit (spionage)satellieten, multi- en hyperspectrale opnamen, laserscans (vaak onnauwkeurig en onvolledig aangeduid als LIDAR (*Light Detection And Ranging*) of thermale opnamen. Hoewel men dus gegevens kan gebruiken die werden gegenereerd binnen of buiten de aardatmosfeer en gecreëerd via een ruime waaier aan technieken, vormen de zogeheten luchtfotografische opnamen tot op de dag van vandaag nog steeds het leeuwendeel van alle gegenereerde en geanalyseerde archeologische teledetectiedata.

Luchtfotografie: een korte geschiedenis

Archeologische luchtfotografie zag zowat een goede eeuw geleden het levenslicht en is daarmee ook de oudste van alle teledetectietechnieken. Deze tak van de archeologie kon pas ontstaan nadat Joseph Nicéphore Niépce (1765-1833) de techniek van de fotografie had ontwikkeld in de jaren twintig van de negentiende eeuw. Iets meer dan drie decennia later fotografeerde Gaspard-Félix Tournachon (1820-1910), beter bekend als Nadar, in 1858 het Franse dorpje Petit Bicêtre vanuit een heteluchtballon. Het duurde echter nog tot het einde van de negentiende eeuw voordat de eerste archeologische luchtfoto werd gerealiseerd door Giacomo Boni. Hij wist, eveneens gedragen door een heteluchtballon, het *Forum Romanum* op de gevoelige plaat vast te leggen. Toen Orville and Wilbur Wright enkele jaren nadien de eerste succesvolle bemande vlucht maakten met een door henzelf ontworpen gemotoriseerd vliegtuig, was enkel nog de grote technologische vooruitgang gedurende de Eerste Wereldoorlog nodig om luchtfotografie vanuit een vliegtuig mogelijk te maken.

1 De foto graaf zit naast de piloot in een tweepersoonsvliegtuig (Cessna 152). Om het zicht te verbeteren tijdens de vlucht werd de deur verwijderd.

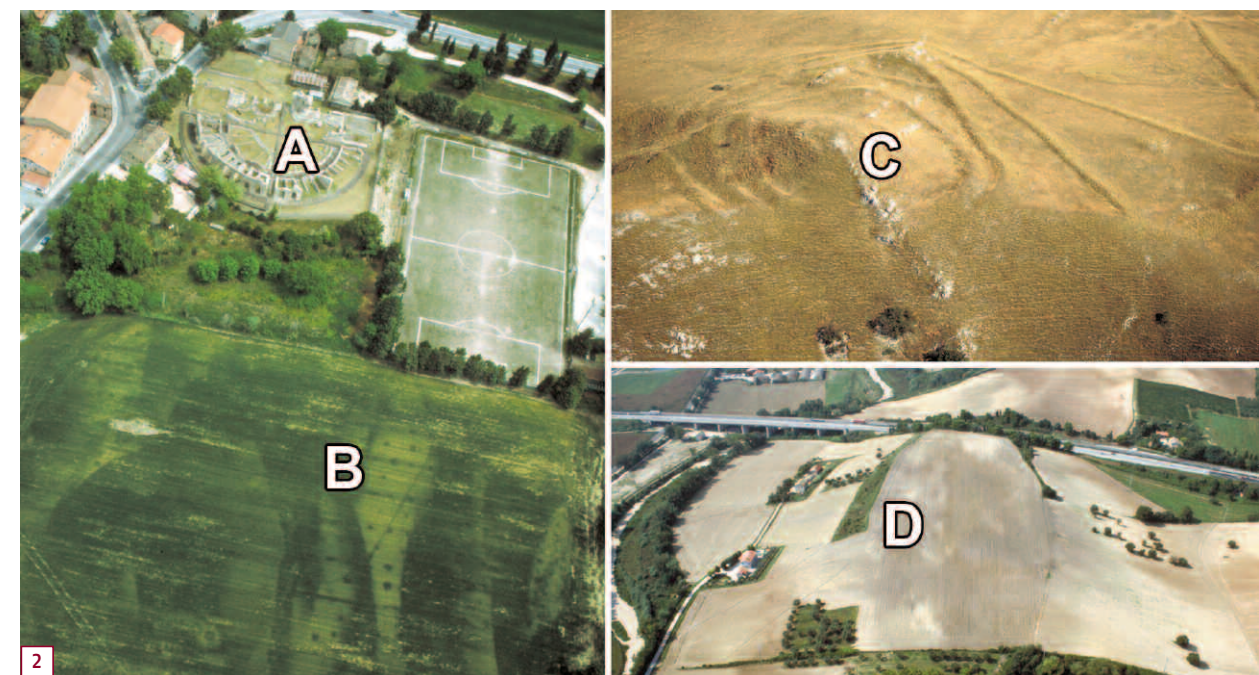
2 Vier verschillende archeologische sporen: rechttopstaande overblijfselen (A), vegetatie- (B), schaduw- (C) en bodemsporen (D).

In de jaren twintig brak luchtfotografische prospectie helemaal door met het werk van de Brit O.G.S. Crawford (1886-1957), die ontegensprekelijk kan worden beschouwd als de peetvader van de hedendaagse wetenschappelijke archeologische luchtfotografie.

Luchtfotografische sporen

Men kan een landschap het best vergelijken met een kleurrijk Perzisch tapijt. Wanneer men met de kin op het tapijt ligt, is het heel moeilijk om de in het tapijt vervatte patronen en kleuren duidelijk waar te nemen. Deze komen pas ten volle tot hun recht wanneer men rechtstaat en vervolgens het tapijt 'vanuit de lucht' waarneemt. Dezelfde redenering gaat ook op voor archeologische luchtfotografie. Behalve het gegeven dat een luchtfoto een holistische kijk verschaft op grote delen van een landschap, laat luchtfotografie toe om archeologisch relevante fenomenen in beeld te brengen die vanaf de grond moeilijk waar te nemen zijn. Behalve de eenvoudig herkenbare rechttopstaande structuren (zoals oude bruggen, theaters en forten – afbeelding 2a) die ook vanaf het aardoppervlak meestal direct zichtbaar zijn, bestaat er een hele waaier aan deels geërodeerde of volledig ondergrondse archeologische residuen die men alleen onder bepaalde omstandigheden vanuit de lucht observeren kan. Deze overblijfselen kunnen immers de eigenschappen van de lokale bodemmatrix en/of topografie beïnvloeden, waardoor ze sporen doen ontstaan (*visibility marks* of *marks*) die vanuit de lucht gespot en gefotografeerd kunnen worden. Hierbij worden globaal de volgende typen sporen onderscheiden:

- vegetatiesporen (*crop/vegetation marks*): archeologische structuren zoals muren of opgevulde kuilen kunnen groei- en/of kleurverschillen veroorzaken in de gewassen die erboven groeien. In het geval dat planten zich boven een structuur bevinden die door haar vulling toelaat om water langer vast te houden dan de omliggende grond (zoals een dichtgeslibde gracht), zullen in periodes van droogte de bovenstaande gewassen langer over het nodige water (en eventueel voedingsstoffen) kunnen beschikken. Bijgevolg blijft deze vegetatie langer groen in vergelijking met de omliggende planten die geel zullen verkleuren. Meer specifiek worden deze sporen positieve vegetatiesporen genoemd (afbeelding 2b). Negatieve vegetatiesporen doen zich voor in het geval planten boven ondoordringbare structuren zoals muren staan. Deze laatste draineren al het beschikbare water, waarbij zij bovendien de plant verhinderen om diep te wortelen en zo aan de nodige voedingsstoffen te geraken. Bijgevolg zal deze vegetatie zich minder omvangrijk ontwikkelen en sneller verkleuren in geval van droogte;
- schaduwsporen (*shadow marks*): wanneer de zon laag genoeg staat, worden oneffenheden in het landschap (bijvoorbeeld een quasivolledig genivelleerde grafheuvel) door middel van schaduwen onthuld (afbeelding 2c). Naast de gangbare topografische hoogteverschillen, kunnen de reeds aangehaalde groeiverschillen in vegetatie ook aanleiding geven tot schaduwsporen;
- bodemsporen (*soil marks*): wanneer begraven muren en grachten door een ploeg open worden getrokken, bestaat de kans dat een deel van dit materiaal aan de



2



oppervlakte wordt geploegd. Vanuit de lucht zijn deze verkleuringen heel goed zichtbaar. Ook grote hoeveelheden schervenmateriaal kunnen zulke sporen veroorzaken (bijvoorbeeld zwarte scherven op een lichtgekleurde bodem – afbeelding 2d);

- sneeuw- en vriesporen (*snow/frost marks*): archeologische structuren kunnen, afhankelijk van hun samenstelling en de duur van de vorst, al dan niet langer warmte vasthouden. De hierdoor ontstane differentiële accumulatie en het smelten van sneeuw of ijs kan eveneens informatie over de lokalisatie en morfologie van deze structuren opleveren.

Hoewel er nog fenomenen zoals water- en windsporen (*flood en wind marks*) voorkomen, vertegenwoordigen bovengenoemde categorieën toch de meest gangbare sporen waardoor mogelijke archeologische residuen vanuit de lucht worden waargenomen. Op de rechtopstaande structuren na (bovengronds dan wel verzonken in helder water), communiceert elk type spoor dus enkel op een indirecte manier over de verborgen archeologie.

Methodes: schuin versus verticaal

Ondanks het feit dat actieve archeologische luchtfotografie sinds decennia wordt beoefend, bleven de methodes en procedures van deze prospectievorm grotendeels onveranderd ten opzichte van Crawfords aanpak. De fotograaf, meestal een archeoloog, neemt vanuit een laagvliegend en klein (tweepersoons)vliegtuig (afbeelding 1) foto's van fenomenen op het aardoppervlak die vanuit archeologisch oogpunt interessant lijken (niet alle vegetatiesporen zijn immers archeologisch van aard). Op voorhand is met de piloot een te bevliegen gebied overeengekomen, waarboven dan tijdens de vlucht op een vrij willekeurige manier wordt rondgevlogen. Wanneer een archeologisch spoor is gedetecteerd, wordt het vanuit verschillende hoeken gefotografeerd terwijl de piloot één tot meerdere cirkels vliegt rondom het spoor.

Het fotograferen van deze sporen gebeurt meestal met gangbare klein- of middenformaat (digitale) fotocamera's, waarbij het gegenereerde beeld tot stand komt door de gereflecteerde portie van het zichtbare licht dat door de zon wordt uitgezonden; vandaar dat deze techniek als een passieve methode wordt bestempeld. Het grote voordeel dat archeologische luchtfotografie in deze uitvoering kenmerkt, bestaat erin dat de benadering uiterst flexibel is. Men vliegt – om het cru te stellen – waar en wanneer men wil om de gewenste foto's te ma-

ken. Doordat men vrij is om het camerastandpunt te kiezen, kan de informatieoverdracht ook maximaal zijn: zo fotografeert men kleurverschillen het best met de zon in de rug, terwijl men deze situatie moet vermijden voor structuren die zich via schaduwsporen aftekenen.

Hoe efficiënt deze manier van prospecteren in bepaalde gebieden en periodes van het jaar ook mag zijn, ze is toch behept met enkele heel belangrijke nadelen. Zo is het voorkomen van de sporen sterk gebonden aan het bodemtype, lokale topografie en de vegetatiesoort. Daarnaast is het van belang te beseffen dat deze prospectiemethode heel vertekende gegevens oplevert, aangezien de dataverzameling gestuurd wordt door de fotograaf. Enkel wat vanuit het vliegtuig wordt gespot, kan op de gevoelige plaat worden vastgelegd. Om deze bias tegen te gaan hebben verschillende onderzoekers al geopperd om deze *observed-directed* vliegbenadering achterwege te laten ten voordele van gebiedsdekkende verticale luchtopnamen. Hoewel de fotograaf via de hierboven beschreven manier ook verticale opnamen kan produceren (waarbij de optische as van de camera niet meer dan 3° afwijkt van de normaal aan het aardoppervlak), is het overgrote deel van de opnamen toch schuin van aard. Daarom wordt deze conventionele manier van archeologische prospectie vaak ook als schuine luchtfotografie bestempeld. In een verticale fotovlucht wordt daarentegen alles in het werk gesteld opdat de camera constant perfect verticale opnamen maakt, aangezien de foto's tot doel hebben om nauwkeurig kaartmateriaal te genereren. Daartoe worden enkel peperdure, luchtdruk-gestabiliseerde en accuraat gekalibreerde grootformaat-camera's met hoogwaardige lenzen benut, gedragen door grotere vliegtuigen die eveneens hoger opereren. De datavergaring gebeurt in vlieglijnen, waarbij de foto's binnen dezelfde vlieglijn elkaar met ongeveer zestig procent overlappen, terwijl dertig procent overlapping wordt gehanteerd tussen de verschillende vlieglijnen. Hoewel puur verticale fotovluchten vanwege hun hoge kosten zelden voor archeologische doeleinden worden uitgevoerd, laten de vergaarde hoge-resolutiefoto's wel toe om naderhand een gebied heel grondig te prospecteren aan de hand van dit gebiedsdekkende materiaal. Dit vormt dan ook het grootste voordeel van deze vliegstrategie, hoewel de kleurverschillen en schaduwen vaak niet onder ideale omstandigheden werden opgenomen (periode van het jaar, lichtinval, enzovoort).

Methodes: hoog versus laag

Naast de bemande vliegtuigen (en in geringere mate helikopters) kan men zowel schuine alsook verticale opnamen maken vanaf onbemande platformen. Ver-

schillende van deze platformen zagen reeds in de begindagen van de luchtfotografie het levenslicht: ballonnen, vliegers, statieven, ladders, raketten, tot zelfs duiven uitgerust met minuscule cameraatjes (afbeelding 3). Veel van deze platformen worden vandaag de dag nog steeds in de archeologie aangewend, maar sinds de jaren tachtig zijn er telegeleide vliegtuigen en helikopters bijgekomen. Het laatste decennium zag ten slotte de steile opgang van de zogenaamde multikopters of multirotors. Net zoals een helikopter, klieven deze tuigen door het luchtruim met behulp van een motor en propeller, maar in de plaats van één centrale propeller worden er verschillende aangewend: bi- of *dual*-rotors, tri-, quad, hexa- en octokopters (afbeelding 4). De positie van deze rotoren kan ook danig verschillen en bepaalt de specifieke eigenschappen van de multirotor

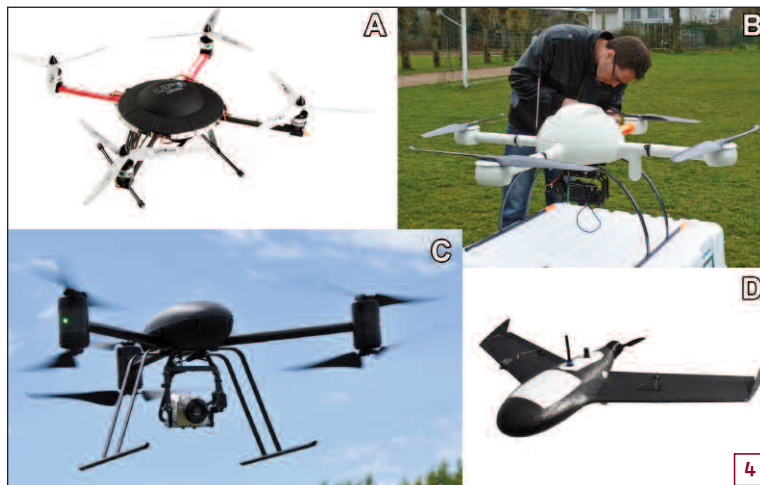
Drones veroorzaken een revolutie in opnamemogelijkheden

(zoals windbestendigheid, motorredundantie, vlieggedrag en nuttige lading). De oorsprong van deze tuigen ligt natuurlijk in een militaire context. Van daar komt overigens ook het woord 'drone', een algemene term om een onbemande en gemotoriseerde constructie aan te duiden die zich telegeleid, dan wel gedeeltelijk of geheel autonoom in de lucht kan voortbewegen. Omwille van die militaire oorsprong heeft drone vandaag de dag echter een vrij pejoratieve bijklank. Naast drone doen nog verschillende andere termen de ronde: *Unmanned Aerial Vehicles* (UAV), *Unmanned Vehicle Systems* (UVS), *Remotely Operated Aircrafts* (ROA) of *Remotely Piloted Vehicles* (RPV). Toch lijkt er een consensus gekomen met de invoer van het acroniem UAS (*Unmanned Aircraft System*). Deze term wijst duidelijk op het belang van het gehele systeem: niet enkel het gemotoriseerde vliegende platform is van belang, maar tevens het grondstation, de communicatie tussen het platform en het grondstation, eventuele navigatiesoftware enzovoort.

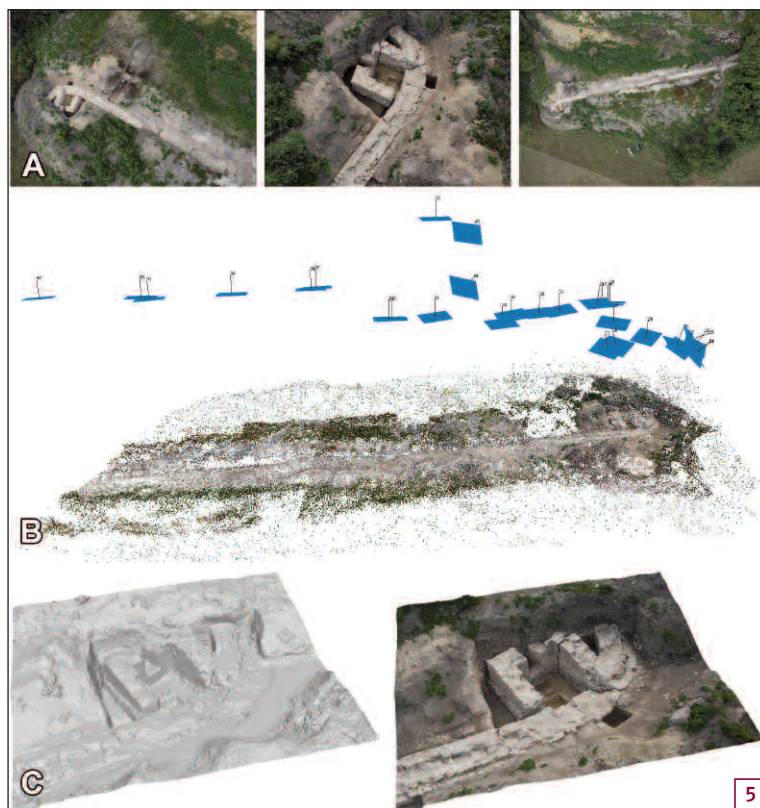
UAS: diversiteit troef

Door de optimalisaties van de huidige generatie *flight controllers* enerzijds en het opkomen van het multirotor concept anderzijds, heeft de populariteit van civiele UAS de laatste jaren een immense vlucht genomen. Niet alleen laten deze multikopters zich veel gemakkelijker vliegen dan een helikopter, het vlieggedrag van de drone kan door zijn *flight controller* ook continu worden gestabiliseerd en aangepast. Door gebruik te maken van gyroscopen, accelerometers, barometers en zelfs GNSS-ontvangers (*Global Navigation Satellite System*) worden aller-

3 (A) Een fororaket van het Duitse leger – 1903; (B) Duiven met minuscule cameraatjes – 1903; (C) het gebruik van een onbemande ballon voor luchtfotografie – 1932; (D) een uitvouwbare ladder als fotoplatform – 1932.



lei geavanceerde functies mogelijk: van sensor-geassisteerd vliegen (waarbij de vlucht zo stabiel en veilig mogelijk wordt gemaakt maar de piloot nog steeds de richting van het toestel bepaalt) tot volledig autonome vluchten (waarbij een voorgeprogrammeerd vluchtplan met daarbij horende taken, zoals het nemen van een foto, afgewerkt kunnen worden). Men hoeft daarbij echter niet enkel aan multirotors te denken: de immense verbeteringen inzake hard- en software van commerciële en open-source *flight controllers* maken dat ook gemotoriseerde paragliders, vliegtuigjes, alsook vliegende vleugels worden ingezet als archeologisch uas (zie afbeelding 4).

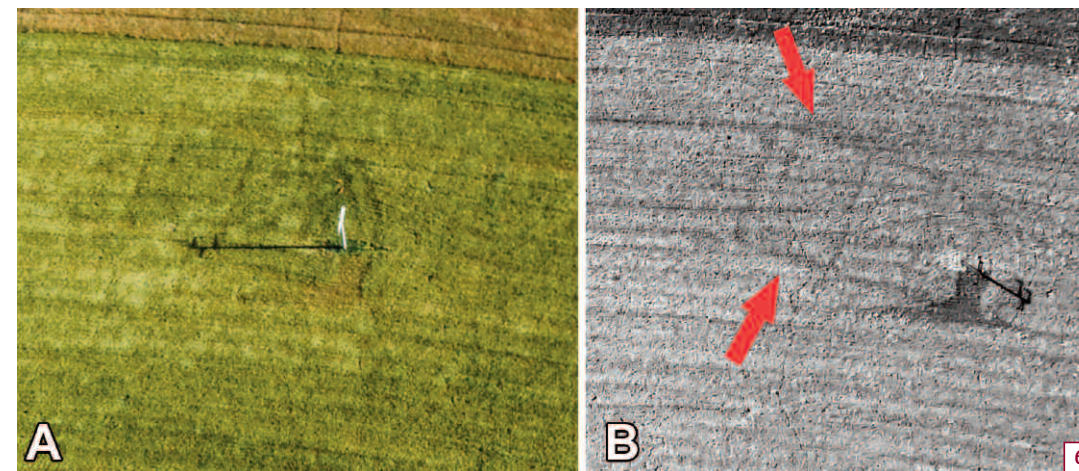


Vandaag de dag is het civiele aanbod aan drones dan ook bijna niet meer te overzien. Talloze aanbieders komen wekelijks met nieuwe componenten tot zelfs volledig gemonteerde en geprogrammeerde systemen aanzetten. Het behoeft geen verdere duiding dat de kwaliteitsverschillen hierbij immens zijn. Ondanks dat men voor enkele honderden euro's een luchtwaardig systeem met compacte camera op de kop kan tikken (afbeelding 4a), is een betrouwbaar en programmeerbaar platform met live video link en trillingsvrije op-hanging van een goede digitale camera toch al snel tienduizend (en meer) euro waard (afbeelding 4b-d).

uas: een nieuwe kijk

Ondanks hun succes hebben drones conventionele schuine lucht fotografie allesbehalve vervangen. Zo is hun actieradius veel beperkter dan bij bemande vliegtuigen. Afhankelijk van hun configuratie, de lading en weersomstandigheden, hebben de meeste multikopters een vliegtijd van 5 minuten tot een half uur, terwijl vliegende vleugels soms een uur bereiken. Dit is vaak genoeg om een paar hectaren per vlucht in beeld te brengen (tot zelfs een paar km² bij sommige vliegende vleugels), maar onvoldoende om echt aan luchtfotografische landschapsprospectie te doen. Bovendien limiteren vaak ook het bereik van de zender alsook het gewenste visuele contact met het onbemande tuig de grootte van het te fotograferen gebied. De focus van een uas ligt dus minder op de pure prospectie van een landschap dan wel op het documenteren van archeologische sites en hun directe omgeving. Doordat ze lager opereren dan conventionele vliegtuigen is de ruimtelijke resolutie van de foto's natuurlijk veel hoger, waardoor minuscule details afgebeeld kunnen worden.

- 4 (A) De Walkera UFO MX 400 quadcopter; (B) De Microdrone MD4-1000 quadcopter; (C) de Draganflyer X6 hexacopter; (D) de Trimble Gatewing X100 vliegende vleugel.
- 5 (A) Drie luchtfoto's uit een set van 42, gegenereerd met een Microdrone MD4-1000 (zie Figuur 4B) boven de opgegraven Romeinse stadsmuur van Carnuntum (Oostenrijk); (B) een *Structure from Motion* algoritme heeft de locaties van de camera's berekend ten opzicht van de gefotografeerde structuren; (C) het naakte (links) en getextureerde (rechts) 3D-model dat werd gegenereerd uit de luchtfoto's.
- 6 (A) Een conventionele digitale foto die de muurresten van een Romeinse tempel op het forum van Trea (Adriatisch Italië) weergeeft aan de hand van schaduwsporen; (B) dezelfde tempelmuren komen duidelijker naar voren als vegetatiesporen in een nabij-infrarode opname.



Daarnaast zijn ze heel snel, alsook op vele plaatsen en tijdstippen inzetbaar, hoewel de omgeving en het weer vanzelfsprekend praktische belemmeringen kunnen opleveren. Dit maakt dat ze uitermate geschikt zijn om kleinere gebieden in kaart te brengen. Niet enkel om in dat gebied naar mogelijke archeologie te speuren, maar vaker nog om de omgeving of rechtopstaande resten te illustreren of in drie dimensies te registreren. Ongeveer parallel met de recente ontwikkelingen op het gebied van drones maakte ook de extractie van driedimensionale informatie uit foto's een grote evolutie mee. Gestoeld op de steeds snellere computerhardware en toenemende beeldkwaliteit van kleinere fotocamera's, braken nieuwe technieken zoals *Structure from Motion* door. Hierbij worden uit een set overlappende foto's (afbeelding 5a) geheel automatisch de locatie van de camera evenals de lensparameters geëxtraheerd (afbeelding 5b). Gebruik makend van deze informatie, kunnen andere algoritmen dan een gedetailleerd hoogtemodel berekenen (afbeelding 5c). uas-luchtfoto's zijn hiervoor uitstekend geschikt. Bijgevolg wendt men ze vaak aan om gedetailleerde 3D-modellen van archeologische opgravingen te creëren (en zo bijvoorbeeld elke blootgelegde laag te documenteren), ruïnes of andere rechtopstaande structuren in beeld te brengen (om accurate orthofotoplannen of doorsneden te berekenen) en zelfs een gedetailleerd hoogtemodel – inclusief alle kleine topografische verschillen – van een landschap te bekomen (wat in een GIS of Geografisch Informatie-Systeem als basislaag kan fungeren). Ten slotte vormen drones ook een ideaal onderzoeksplatform om verschillende camera-systemen te testen en op die manier te trachten om verborgen archeologische non-destructief en met een hoge ruimtelijke resolutie in beeld te brengen. Afbeelding 6 geeft hiervan een mooi voorbeeld. Boven de Romeinse stad Trea (Regione Marche, Italië) werden twee verschillende uas-vluchten uitgevoerd: eenmaal met een normale digitale camera en eenmaal met een nabij-infraroodgevoelige camera. Aangezien nabij-infrarode straling gekarakteriseerd wordt door iets langere golflengten dan visueel licht, is

deze elektromagnetische energie onzichtbaar voor het menselijk visueel systeem. Afbeelding 6 toont aan dat vegetatiesporen in sommige omstandigheden beter tot hun recht komen in dit onzichtbare spectrum. In het visuele beeld (afbeelding 6a) zijn sommige tempelmuren zichtbaar via schaduwsporen die resulteren uit een heel lage zonnestand (let op de schaduw van de pyloon) en de groeiverschillen in het graan. Men blijft echter in het ongewisse over de twee zijmuren, omdat hun oriëntatie ongeveer samenvalt met de schaduwrichting terwijl ook het kleurverschil tussen de gezonde en gestresseerde vegetatie minimaal is. Het nabij-infrarode beeld (afbeelding 6b) geeft een veel duidelijkere indicatie van deze tempelmuren (aangeduid met de pijlen). De foto werd genomen in de late voormiddag, waardoor schaduwwerking een veel kleinere invloed heeft en men enkel kijkt naar een verschil in plantreflectie. Dit beeld toont duidelijk aan dat het contrast tussen gezonde en gestresseerde/uitgedroogde planten in het nabij-infrarood groter kan zijn dan in het zichtbare spectrum.

Conclusie

Drones tot zelfs volledige *Unmanned Aircraft Systems* zijn vandaag de dag vrij nauw verbonden met verschillende facetten van het archeologische onderzoek. Het hoeft dan ook niet te verwonderen dat ook meer en meer archeologische bedrijven tot de aankoop van een uas overgaan, terwijl vele onderzoeksinstituten één tot meerdere drones hebben om allerlei testen mee uit te voeren. Gegeven de constante verbeteringen op het vlak van digitale camera's, computerhardware en navigatiesoftware, zullen deze platformen nog een hele tijd het luchtruim blijven bevolken. De vraag is enkel hoe snel een (Europese) wetgeving van kracht zal worden die het gebruik van deze klasse onbemande tuigen in goede banen leidt, een zekere bekwaamheid van de piloten vereist en hoe strikt de verplichte veiligheidsvoorschriften zullen zijn.